

УДК 681.3

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ, РАДИАЦИОННО-СТОЙКИХ АЦП ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРЕЦИЗИОННОЙ АВТОМАТИКОЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СВЯЗИ, НАВИГАЦИИ И ГЕОДЕЗИИ

Скотников Л.А.

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент Непомнящий О.В.

Сибирский федеральный университет

Интегральные аналого-цифровые преобразователи (АЦП) выпускаются уже свыше 30 лет. Сегодня в мире выпускаются тысячи моделей аналого-цифровых преобразователей. В группе лидеров такие компании, как Atmel, Microchip Technology Inc., Motorola Semiconductor, National Semiconductor, Texas Instruments и др.

Эти модели АЦП можно разделить по характеристикам точности, быстродействия, потребления энергии и ценой. При выборе конкретной микросхемы разработчик обращает внимание, прежде всего на соответствие ее параметров основным критериям, предъявляемым к разработке. В статье предложен обзор различных моделей радиационно-стойких АЦП крупнейших мировых производителей.

Классификация АЦП

Классификация радиационно-стойких АЦП по методам преобразования представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация АЦП по методам преобразования

Точность современных моделей АЦП определяется преимущественно разрядностью. Можно выделить следующие группы:

- АЦП низкой точности — 8 разрядов и менее;
- АЦП средней точности — 10—13 разрядов;
- АЦП высокой точности — 14 разрядов и более.

Но, как правило, основным критерием при выборе АЦП служит требование к его быстродействию. По быстродействию АЦП в настоящее время можно разделить на следующие основные группы, различающиеся в зависимости от максимальной частоты преобразования $f_{s, \max}$:

- АЦП среднего быстродействия с $f_{s, \max} = 10 \dots 5000$ кГц;
- скоростные АЦП с $f_{s, \max} = 5 \dots 200$ МГц;
- сверхскоростные АЦП с $f_{s, \max} \gg 200$ МГц.

АЦП среднего быстродействия

Эта категория АЦП предназначена для построения высокоточных низкоскоростных систем сбора данных, систем управления двигателями постоянного тока и т.д. На сегодняшний день на рынке эта группа представлена преимущественно сигма-дельта АЦП и АЦП последовательного приближения.

24-битный сигма-дельта ADS1258 Texas Instruments содержит модулятор 4-го порядка, встроенные источник опорного напряжения (ИОН), датчик температуры, монитор питания и входной аналоговый мультиплексор, конфигурируемый либо в 16

одиночных, либо в 8 дифференциальных каналов. Тактовый генератор снабжен схемой умножения, преобразующей частоту внешнего резонатора 32768 Гц в тактовую частоту 15,729 МГц. Цифровая часть включает sinc-фильтр и программируемый усреднитель. Такое построение вместе с модулятором 4-го порядка позволяет получить ENOB = 21,6 бит при частоте выборок 1953 Гц. При дифференциальном включении входного мультиплексора может быть организована стабилизация нуля прерыванием. Это позволяет снизить смещение нуля АЦП примерно в 20 раз. Максимальная частота выборок при фиксированном входном канале 125 кГц.

Фирма Analog Devices предлагает три почти идентичных 24-разрядных сигма-дельта АЦП с мультибитным модулятором AD7760, AD7762 и AD7763. Первые две модели оснащены 16-битным параллельным интерфейсом, а AD7763 — последовательным. Передача данных при параллельном интерфейсе осуществляется за 2 такта. Эти модели имеют встроенный буферный дифференциальный усилитель. Цифровая часть включает трехкаскадный фильтр, причем последний каскад может программироваться пользователем как фильтр нижних частот от 12-го до 96-го порядка. АЧХ фильтра 96-го порядка имеет спад за полосой пропускания 120 дБ за четверть октавы. Эти АЦП при внешней тактовой частоте 40 МГц обеспечивают при 256- и 32-кратном прореживании (частоты выборок соответственно 78 и 625 кГц) отношение сигнал/шум 112 и 107 дБ соответственно. Модель AD7760 допускает также 8-кратное прореживание (частота выборок 2,5 МГц), при этом отношение сигнал/шум составляет 100 дБ. Мощность, потребляемая этими АЦП, около 1 Вт.

АЦП последовательного приближения продолжают оставаться основным типом АЦП среднего быстродействия с разрешающей способностью 8...18 бит. Фирма National Semiconductor выпускает семейство одноканальных АЦП ADCxx1Sxx1, различающихся разрядностью и быстродействием. Каждая из моделей семейства включает УВХ, компаратор, ЦАП на конденсаторах с перераспределением заряда и управляющую логику. Эти ИМС изготавливаются в миниатюрных 6-выводных корпусах SOT-32 и LPP.

Скоростные АЦП

АЦП этой категории применяются в приборах ультразвуковой диагностики, проводных и беспроводных системах коммуникаций, испытательном оборудовании систем связи, а также в недорогих цифровых осциллографах. Современные скоростные АЦП — это почти исключительно приборы конвейерной архитектуры с дифференциальным аналоговым входом, имеющие режим пониженного энергопотребления. Основные типы интерфейса — параллельные с КМОП- и ТТЛ-уровнями и последовательные низковольтные дифференциальные интерфейсы (LVDS).

Типичный 12-разрядный скоростной АЦП — AD9237. Он имеет 11 ступеней преобразования с коррекцией кодов. Максимальная производительность, в зависимости от версии, 20, 40 или 65 Мвыб./с, аналоговая полоса полной мощности — 400 МГц, что дает возможность за счет низкого апертурного джиттера преобразовывать периодические сигналы высоких частот, используя стробоскопический метод. При преобразовании синусоидального сигнала частотой 34,2 МГц самой скоростной версией SINAD = 65,8 дБ. Напряжение питания прибора 3 В, потребляет мощность всего 190 мВт (при скорости 65 Мвыб./с).

Счетверенный вариант этого АЦП — AD9229 — оснащен последовательным LVDS-интерфейсом со скоростью передачи данных по каждому каналу 780 МБод. Прибор имеет стабилизатор скважности входного тактового сигнала и умножитель частоты с ФАПЧ. Минимальная частота преобразования, определяемая условиями устойчивости ФАПЧ, составляет 10 Мвыб./с.

Конвейерная архитектура позволяет наращивать разрядность АЦП с минимальным усложнением схемы без снижения производительности. 14-разрядный

MAX12557 имеет производительность 65 Мвыб./с. За счет низкого апертурного джиттера (среднеквадратическое значение — 0,5 пс) и высокого быстродействия УВХ он может в стробоскопическом режиме преобразовывать сигналы частотой до 750 МГц. При частоте входного сигнала 70 МГц его SINAD = 73,4 дБ.

14-разрядные AD9246 и LTC2255 имеют еще большую производительность — 125 Мвыб./с, причем диапазон напряжения питания AD2946 составляет 1,8÷3,3 В.

16-разрядные LTC2208 (производительность 130 Мвыб./с) и MAX19586 (производительность 80 Мвыб./с) обладают самыми высокими значениями SINAD (77,4 дБ и 77,6 дБ соответственно) при частоте входного сигнала 70 МГц. У LTC2208 к тому же рекордно низкий апертурный джиттер (0,07 пс СКЗ). Цифровые выходы данных параллельного интерфейса этого АЦП могут быть сконфигурированы для сопряжения с LVDS- или с КМОП - приемниками.

Сверхскоростные АЦП

Областью применения сверхскоростных АЦП служат радиолокационные системы, цифровые осциллографы, широкополосные цифровые приемники, в том числе многоканальные приемники базовых станций сотовой телефонии.

Если еще недавно среди АЦП с производительностью более 200 Мвыб./с преобладали параллельные АЦП, то новейшие модели этого класса имеют также конвейерную архитектуру. Существенным отличием новых моделей сверхскоростных АЦП является параллельный LVDS-интерфейс. Один из таких АЦП — 12-разрядный вдвоенный MAX1219 имеет максимальную производительность 210 Мвыб./с. Напряжение питания 1,8 В, потребляет мощность 1,6 Вт. Лучшими характеристиками обладает 13-разрядный ADS5444 фирмы Texas Instruments — максимальная производительность 250 Мвыб./с.

Фирма National Semiconductor выпускает вдвоенный 8-разрядный АЦП ADC08D1500, способный производить 1,5 Гвыб./с. Многоступенчатый конвейер этого прибора создает задержку выходных данных относительно выборки входного сигнала на 13 тактов. АЦП питается от одного источника 1,9 В и потребляет 1,8 Вт. Каждый канал прибора имеет на выходе демультиплексор 1х2, облегчающий сопряжение с более медленными приемниками. Входной аналоговый мультиплексор наряду с поочередным тактированием каналов позволяет реализовать одноканальный режим производительностью 3 Гвыб./с. Дифференциальное входное сопротивление АЦП 100 Ом согласуется с волновым сопротивлением витой пары.

10-разрядный AT84AS008 фирмы Atmel имеет максимальную производительность 2,2 Гвыб./с. Прибор имеет выходной демультиплексор 1х2 или 1х4. Конвейерная задержка — 4 такта. Дифференциальное входное сопротивление также 100 Ом.

Проблема выбора АЦП

Приведенный выше обзор АЦП ведущих мировых производителей дает хорошую оценку характеристик и многообразия выпускаемых АЦП, стойких к радиационному воздействию космического пространства.

Однако большинство зарубежных АЦП являются относительно дорогостоящими, а, учитывая и их сроки доставки, не выгодными к использованию при проектировании интегральных схем в России. В ходе дальнейшего изучения производителей АЦП был найден производитель AS «ALFA RPAR» (г. Рига, Латвия). Данный завод специализируется на производстве высокоскоростных АЦП различной точности, стойких к радиационному воздействию космического пространства. Данные АЦП удовлетворяют высоким требованиям по быстродействию и помехоустойчивости, предъявляемым при проектировании микроэлектронных систем управления и контроля прецизионной автоматикой космических аппаратов связи, навигации и геодезии. Данные АЦП зарекомендовали себя среди проектировщиков интегральных схем России

и ближнего зарубежья, опыт которых позволяет с уверенностью судить об их пригодности к использованию для решения сложных задач при проектировании и конструировании интегральных схем для использования в радиационно-агрессивной среде космического пространства. Среди наиболее известных заказчиков данных АЦП можно выделить «НПО ПМ им. Академика Решетнева» (г. Железнодорожск, Россия). Более подробно спектр данных АЦП представлен в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики радиационно-стойких АЦП, выпускаемые «AS ALFA RPAR»

Серия 572

| Тип изделия | Res bits | t _c μs | DNL ±LSB | INL ±LSB | dF _s ±LSB | U _{cc} V | I _{cc} mA | U _{REF} V | U _{IN} V | Корпус | Номер ТУ |
|-------------|----------|-------------------|----------|----------|----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------------------|------------------|
| 572ПВ1А | 12 | 150 | 1 | 0.75 | 10 | 5/+15 | 1.0/1.5 | ± 10.24 | 10 | 4134.48-2 (48-pin CerFlatpack) | БКО.347.182-03ТУ |
| 572ПВ1АУ | 12 | 150 | 1 | 0.75 | 10 | 5/+15 | 1.0/1.5 | ± 10.24 | 10 | H14.42-1B (42-pin Cer Flatpack) | БКО.347.182-03ТУ |
| К572ПВ1А | 12 | 150 | 4 | 2 | 122 | 5/+15 | 3/5 | ± 10.24 | 10 | 4134.48-2 (48-pin CerFlatpack) | БКО.348.432-03ТУ |
| КР572ПВ1Б | 12 | 150 | 8 | 4 | 122 | 5/+15 | 3/5 | ± 10.24 | 10 | 2123.40-2 (40-pin Plastic DIP) | БКО.348.432-03ТУ |
| КР572ПВ1В | 12 | 150 | 1 | 1 | 10 | 5/+15 | 3/5 | ± 10.24 | 10 | 2123.40-2 (40-pin Plastic DIP) | БКО.348.432-03ТУ |
| КР572ПВ2А | 3.5dec. | - | 1 | 1 | - | 5/-5 | 1.8 | 1.0 | 2 | 2123.40-2 (40-pin Plastic DIP) | БКО.348.432-04ТУ |
| КР572ПВ2Б | 3.5dec. | - | 3 | 3 | - | 5/-5 | 1.8 | 1.0 | 2 | 2123.40-2 (40-pin Plastic DIP) | БКО.348.432-04ТУ |
| КР572ПВ2В | 3.5dec. | - | 5 | 5 | - | 5/-5 | 1.8 | 1.0 | 2 | 2123.40-2 (40-pin Plastic DIP) | БКО.348.432-04ТУ |
| КР572ПВ3 | 8 | 7.5 | 0.75 | 0.5 | 3 | 5 | 2.5 | -10V | 10 | 238.18-3 (18-pin Plastic DIP) | БКО.348.432-08ТУ |
| К572ПВ4 | 8 | 25 | 0.5 | 0.5 | 1 | 5 | 3.0 | ±2.5 | ±2.5 | 2121.28-6 (28-pin CerDIP) | БКО.348.432-05ТУ |
| КР572ПВ5 | 3.5dec. | - | 1 | 1 | 1 | 9 | 1.8 | 1.0 | ±1.9 | 2123.40-2 (40-pin Plastic DIP) | БКО.348.412-07ТУ |

Серия 1108

| Тип изделия | Res bits | t _c μs | DNL ±LSB | INL ±LSB | dF _s ±LSB | U _{cc} V | I _{cc} mA | U _{REF} V | U _{IN} V | Корпус | Номер ТУ |
|-------------|----------|-------------------|----------|----------|----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| 1108ПВ1А | 10 | 0.9 | 0.75 | 1 | 4 | 5/-5.2 | 50/130 | 2.5/in. | 2.8 | 210.Б.24-1 (24-pin CerDIP) | БКО.347.347-02ТУ |
| 1108ПВ1Б | 10 | 0.9 | 3 | 3 | 7 | 5/-5.2 | 50/130 | 2.5/in. | 2.8 | 210.Б.24-1 (24-pin CerDIP) | БКО.347.347-02ТУ |
| Н1108ПВ1А | 10 | 0.9 | 0.75 | 1 | 4 | 5/-5.2 | 50/130 | 2.5/in. | 2.8 | H14.42-1B (42-pin QFP) | БКО.347.347-02ТУ |
| Н1108ПВ1Б | 10 | 0.9 | 3 | 3 | 7 | 5/-5.2 | 50/130 | 2.5/in. | 2.8 | H14.42-1B (42-pin QFP) | БКО.347.347-02ТУ |
| Н1108ПВ1Г | 10 | 0.9 | 0.75 | 1 | 4 | 5/-5.2 | 50/130 | 2.5/in. | 2.8 | H14.42-1B (42-pin QFP) | БКО.347.347-02ТУ |
| 1108ПВ2 | 12 | 2.0 | 1.0 | 2.0 | 10 | 5/-6 | 80/150 | 2.5/in. | 5/±2.5 | 2123.40-6 (40-pin CerDIP) | БКО.347.347-05ТУ |
| К1108ПВ2 | 12 | 2.0 | 1.0 | 2.0 | 10 | 5/-6 | 80/150 | 2.5/in. | 5/±2.5 | 2123.40-6 (40-pin CerDIP) | БКО.348.863-ТУ |
| 1108ПВ4 | 14 | 0.02 | 1.0 | 2.0 | 10 | 5 | 410/47 | 2.45/in. | ±0.55 | H14.42-2B (42-pin QFP) | АЕЯР.431320.721ТУ |

Серия 1113

| Тип изделия | Res bits | t _c μs | DNL ±LSB | INL ±LSB | dF _s ±LSB | U _{cc} V | I _{cc} mA | U _{REF} V | U _{IN} V | Корпус | Номер ТУ |
|-------------|----------|-------------------|----------|----------|----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|
| 1113ПВ1А | 10 | 30 | 1 | 1 | 5 | 5/-15 | 10/18 | int. | 10/±5 | 238.18-1 (18-pin CerDIP) | БКО.347.365-01ТУ |
| 1113ПВ1Б | 10 | 30 | 4 | 2 | 10 | 5/-15 | 10/18 | int. | 10/±5 | 238.18-1 (18-pin CerDIP) | БКО.347.365-01ТУ |
| 1113ПВ1В | 10 | 30 | 4 | 2 | 10 | 5/-15 | 10/18 | int. | 10/±5 | 238.18-1 (18-pin CerDIP) | БКО.347.365-01ТУ |
| 1113ПВ1Г | 10 | 30 | 1 | 1 | 5 | 5/-15 | 10/18 | int. | 10/±5 | 238.18-1 (18-pin CerDIP) | БКО.347.365-01ТУ |
| КР1113ПВ1Б | 10 | 30 | 2 | 2 | 4 | 5/-15 | 10/18 | int. | 10/±5 | 238.18-3 (18-pin Plastic DIP) | БКО.348.636-ТУ |
| КР1113ПВ1В | 10 | 30 | 4 | 4 | 4 | 5/-15 | 10/18 | int. | 10/±5 | 238.18-3 (18-pin Plastic DIP) | БКО.348.636-ТУ |
| КР1113ПВ1Г | 10 | 30 | 4 | 4 | 4 | 5/-15 | 10/18 | int. | 10/±5 | 238.18-3 (18-pin Plastic DIP) | БКО.348.636-ТУ |

Библиографический список

1. Сайт Рижского завода полупроводниковых приборов AS «ALFA RPAR» <http://www.alfarzp.lv/indexru.html>
2. Сайт корпорации «National Semiconductor» <http://www.national.com/>
3. Сайт корпорации «Analog Devices» <http://www.analog.com/ru/index.html>

4. Сайт корпорации «Atmel» <http://www.atmel.com/>
5. Сайт корпорации «Texas Instruments» <http://www.ti.com/>